

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 07-154128

(43)Date of publication of application : 16.06.1995

(51)Int.Cl.

H01Q 3/08
H01Q 1/34

(21)Application number : 05-298267

(71)Applicant : TOKIMEC INC

(22)Date of filing : 29.11.1993

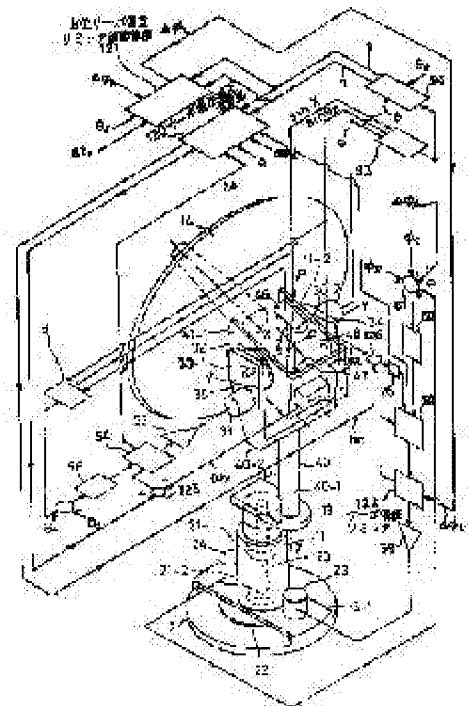
(72)Inventor : MURAKOSHI TAKAO
HOJO TAKESHI
KAMIYA YOSHINORI

(54) ANTENNA DIRECTING DEVICE

(57)Abstract:

PURPOSE: To direct an antenna to a satellite in an excellent way by providing a shake angle arithmetic section, a servo deviation correction arithmetic section and an adder in the device and correcting a detection angular velocity deviation caused in an output of a gyro based on a tracking difference around an azimuth axial line and an elevating axial line.

CONSTITUTION: A servo deviation correction arithmetic section 120 receives a shake angle or the like calculated by a shake angle arithmetic section 94 to calculate deviations h_e , h_a of a detection angle of an elevating angle gyro 44 and an azimuth gyro 45. The deviations (h_e), (h_a) are fed respectively to adders 125, 126, an angular velocity outputted from the gyro 44 is corrected by the deviation (h_e) at the adder 125, and an angular velocity outputted from the gyro 45 is corrected by the deviation (h_a) at the adder 126. An corrected output signal of the gyros 44, 45 is fed respectively to an elevating angle control integration device 54 and an azimuth angle control integration device 58. An instruction signal outputted from the integration devices 54, 58 is fed to servo motors 33, 23 respectively via amplifiers 55, 59. Thus, the antenna 14 is directed in the direction of a satellite in an excellent way.



(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平7-154128

(43)公開日 平成7年(1995)6月16日

(51)Int.Cl.⁶

H 0 1 Q 3/08
1/34

識別記号

庁内整理番号
2109-5 J

F I

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 15 頁)

(21)出願番号 特願平5-298267

(22)出願日 平成5年(1993)11月29日

(71)出願人 000003388

株式会社トキメック
東京都大田区南蒲田2丁目16番46号

(72)発明者 村越 尊雄

東京都大田区南蒲田2丁目16番46号 株式
会社トキメック内

(72)発明者 北條 武

東京都大田区南蒲田2丁目16番46号 株式
会社トキメック内

(72)発明者 神谷 吉範

東京都大田区南蒲田2丁目16番46号 株式
会社トキメック内

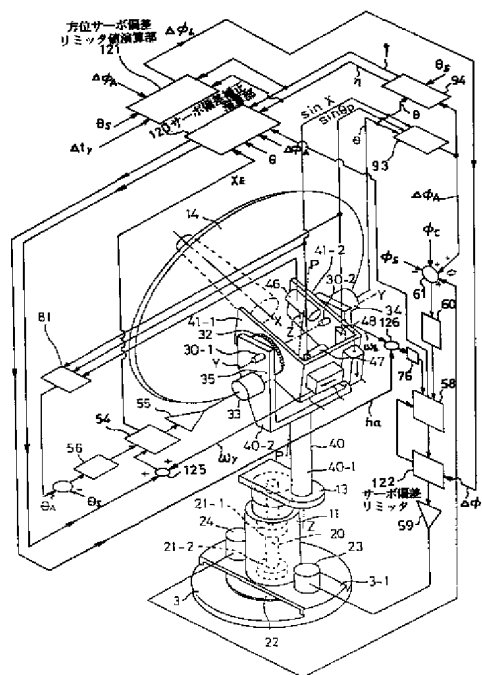
(74)代理人 弁理士 松隈 秀盛

(54)【発明の名称】 アンテナ指向装置

(57)【要約】

【目的】 仰角軸線周りのアンテナの回転角 θ が 90° 近くになった場合でも、常にアンテナを衛星に対して良好に指向させることができるアンテナ指向装置を提供することを目的とする。

【構成】 アンテナ指向装置において、船体面の動揺角 η 、 ξ を演算する動揺角演算部94と仰角ジャイロ44及び方位ジャイロ45の検出角速度偏差 h_a 、 h_e を演算するサーボ偏差補正演算部120と方位サーボ偏差リミッタ値 $\Delta\phi_L$ を演算する方位サーボ偏差リミッタ値演算部121と方位サーボ偏差 X_B を制限するサーボ偏差リミッタ122とを設け、仰角軸線Y-Y周りのアンテナ14の回転角 θ が 90° 近くになった場合でも、方位サーボモータ23が暴走しないように構成されている。



本発明のアンテナ指向装置の例

【特許請求の範囲】

【請求項1】 中心軸線を有し支持部材に支持されたアンテナと、該アンテナ及び上記支持部材を上記中心軸線に直交する仰角軸線周りに回転可能に支持する方位ジンバルと、該方位ジンバルを上記仰角軸線に直交する方位軸線周りに回転可能に支持する基台と、上記仰角軸線に平行な入力軸線を有し上記支持部材に固定された第1のジャイロと、上記中心軸線と仰角軸線の両者に直交する入力軸線を有し上記支持部材に固定された第2のジャイロと、水平面に対する上記中心軸線の傾斜角を指示する信号を出力する第1の加速度計と、水平面に対する上記仰角軸線の傾斜角を指示する信号を出力する第2の加速度計と、上記アンテナの中心軸線と仰角軸線の両者に直交する入力軸線を有する第3の加速度計と、上記方位ジンバルの上記方位軸線周りの回転角を指示する信号を出力する方位発信器と、上記方位ジンバルに対する上記仰角軸線周りの上記アンテナの回転角を指示する信号を出力する仰角発信器と、上記第2の加速度計の出力信号と上記第3の加速度計の出力信号と上記仰角発信器の出力信号とを入力して傾斜補正值を演算する傾斜補正演算部と、を有し、上記加速度計の出力信号から衛星の高度角に対応した値を減じた信号を仰角制御積分器にフィードバックし、上記方位発信器の出力信号と船首方位角及び衛星方位角に対応した信号と上記傾斜補正演算部より出力された傾斜補正值 $\Delta\phi_A$ を指示する信号とを加算器にて演算しその出力信号を方位角制御積分器にフィードバックして上記アンテナの中心軸線を上記衛星に指向させるように構成されたアンテナ指向装置において、上記傾斜補正演算部より供給された傾斜補正值と衛星高度角と上記仰角発信器より供給された上記仰角軸線周りの上記アンテナの回転角とよりアンテナ指向装置の取り*

$$\begin{aligned} h_a = & -\xi_1 \{ \sin \eta \{ \cos (\theta - X_E) - \cos \theta \} + \cos \eta \{ \sin (\Delta \phi_A + X_A) \cdot \sin (\theta - X_E) - \sin \Delta \phi_A \cdot \sin \theta \} \} \\ & + \eta_1 \{ \cos (\Delta \phi_A + X_A) \cdot \sin (\theta - X_E) - \cos \Delta \phi_A \cdot \sin \theta \} + d\phi/dt \{ \cos (\theta - X_E) - \cos \theta \} \\ h_e = & \xi_1 \cos \eta \{ \cos (\Delta \phi_A + X_A) - \cos \Delta \phi_A \} \\ & + \eta_1 \{ \sin (\Delta \phi_A + X_A) - \sin \Delta \phi_A \} \end{aligned}$$

θ : 仰角軸線Y-Y周りのアンテナ14の回転角度

$\Delta\phi_A$: 方位軸線Z-Z周りのアンテナ14の回転角度

$d\theta/dt$: 仰角軸線Y-Y周りのアンテナ14の回転角速度

$d\phi/dt$: 方位軸線Z-Z周りのアンテナ14の回転角速度

ξ_1 : 動揺角 ξ の時間に関する1次微分

η_1 : 動揺角 η の時間に関する1次微分

X_A : 方位角制御積分器58の出力

X_E : 仰角制御積分器54の出力

【請求項4】 請求項1、2又は3記載のアンテナ指向装置において、

上記動揺角演算部より出力された動揺角と上記傾斜補正*

* 付け面の動揺角を演算する動揺角演算部と、

該動揺角演算部より供給された動揺角と上記傾斜補正演算部より供給された傾斜補正值と上記仰角発信器より供給された上記仰角軸線周りの上記アンテナの回転角と上記仰角制御積分器の出力値と上記方位角制御積分器の出力値とを入力し、上記第1のジャイロ及び第2のジャイロの検出角速度偏差を演算するサーボ偏差補正演算部と、

上記サーボ偏差補正演算部の出力と上記第1のジャイロの出力を入力して加算する第3の加算器と、上記サーボ偏差補正演算部の出力と上記第2のジャイロの出力を入力して加算する第4の加算器と、を設け、船体の動揺等によって発生する方位軸線周りの追従誤差と仰角軸線周りの追従誤差によってジャイロの出力に生ずる検出角速度偏差を補正するように構成したことを特徴とするアンテナ指向装置。

【請求項2】 請求項1記載のアンテナ指向装置において、上記動揺角演算部は次式によってアンテナ指向装置の取り付け面の動揺角を演算することを特徴とするアンテナ指向装置。

$$\eta = \tan^{-1} (\sin \Delta \phi_A / \tan \theta)$$

$$\theta_s - \xi = \tan^{-1} (\tan \Delta \phi_A / \sin \eta)$$

但し、 η 、 ξ : 取り付け面の動揺角

$\Delta\phi_A$: 傾斜補正值

θ : 仰角発信器の出力信号

θ_s : 衛星高度角

【請求項3】 請求項1又は2記載のアンテナ指向装置において、上記サーボ偏差補正演算部は次式によって上記第1のジャイロ及び第2のジャイロの検出角速度偏差を演算することを特徴とするアンテナ指向装置。

* 演算部より出力された傾斜補正值と予め設定された予想時間とを入力して予想時間後の方位角を演算し、予想時間後の方位角と現在の方位角との差から方位サーボ偏差を演算して出力する方位サーボ偏差リミッタ値演算部と、

該方位サーボ偏差リミッタ値演算部の出力と上記方位角制御積分器の出力とを入力し、上記方位サーボ偏差リミッタ値演算部の出力によって上記方位角制御積分器の出力を制限するサーボ偏差リミッタと、を設け、上記アンテナを方位軸線周りに回転させるための方位サーボモータの暴走を防止するように構成されていることを特徴とするアンテナ指向装置。

【請求項5】 請求項1、2、3又は4記載のアンテナ

3

指向装置において、上記方位サーボ偏差リミッタ値演算部は次式によって上記方位サーボ偏差リミッタ値を演算することを特徴とするアンテナ指向装置。

$$\tan \Delta \phi_L = \frac{B - \tan A}{1 + B \tan A}$$

但し、

$\Delta \phi_L$: 方位サーボ偏差リミッタ値

$A = \phi_s - \phi_c - \phi$

$B = \sin \eta_Y \tan (\theta_s - \xi_Y)$

ϕ_s : 衛星方位角

ϕ_c : 船首方位角

ϕ : アンテナ14の方位軸線Z-Z周りの回転角度

ξ_Y 、 η_Y : 予測時間 Δt_Y 経過後の動揺角

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は海事衛星通信等に使用して好適なアンテナを衛星方向へ指向させるためのアンテナ指向装置に関する。

【0002】

【従来の技術】図5は従来のアンテナ指向装置の例を示す。このアンテナ指向装置は基本的には方位-仰角系と称され、基台3と斯かる基台3に装着された方位ジンバル40と方位ジンバル40の上端部のU字形部材に装着された取り付け金具41と斯かる取り付け金具41に取り付けられたアンテナ14とを有する。

【0003】基台3はブリッジ部3-1を有してよく、斯かるブリッジ部3-1には上方に突出する円筒部11が装着されており、斯かる円筒部11の内部には1対の軸受21-1、21-2が取り付けられている。この軸受21-1、21-2の内輪には方位軸20が嵌合されており、方位軸20の上端部にはアーム13を介して方位ジンバル40が装着されている。

【0004】斯くして方位軸20が軸受21-1、21-2によって支持された状態にて、方位ジンバル40は方位軸20を通る軸線周りに回転することができる。方位ジンバル40は下側の支持軸部40-1と上側のU字形部40-2とを有し、支持軸部40-1の中心軸線即ち方位軸線Z-Zは図示のように方位軸20を通る軸線より偏倚して配置されている。尚、支持軸部40-1は方位軸20を通る軸線に整合するように構成してもよい。

【0005】方位ジンバル40のU字形部40-2には、より小さいU字形の取り付け金具41が配置されており、斯かる取り付け金具41はその2つの脚部41-1、41-2の各々に仰角軸30-1、30-2を有する。方位ジンバル40のU字形部40-2の2つの脚部の各々には適当な軸受が装着されており、斯かる軸受によって仰角軸30-1、30-2は回転可能に支持されている。

4

【0006】仰角軸30-1、30-2の中心軸線は仰角軸線Y-Yを構成しており、こうして、取り付け金具41は方位ジンバル40のU字形部40-2の2つの脚部の間に仰角軸線Y-Y周りに回転可能に支持されている。仰角軸線Y-Yは方位軸線Z-Zに対して直角に配置されている。

【0007】方位軸線Z-Zはアンテナ指向装置の取り付け面、例えば船体面に垂直であり、従って、仰角軸線Y-Yは船体面に対して常に平行に配置されている。

10 【0008】U字形の取り付け金具41の脚部41-1、41-2にはアンテナ14が装着されており、従ってアンテナ14は取り付け金具41と共に仰角軸線Y-Y周りを回転することができる。アンテナ14は中心軸線X-Xを有しており、斯かる中心軸線は仰角軸線Y-Yに対して垂直である。

20 【0009】取り付け金具41には、仰角ジャイロ44及び方位ジャイロ45が装着され、仰角ジャイロ44によって仰角軸線Y-Y周りを回転するアンテナ14の回転角速度が検出され、方位ジャイロ45によって仰角軸線Y-Y及びアンテナ14の中心軸線X-Xの双方に直交する軸線周りのアンテナ14の回転角速度が検出される。仰角ジャイロ44と方位ジャイロ45は、例えば機械式ジャイロ、光学式ジャイロ等の積分型ジャイロの他、振動ジャイロ、レートジャイロ、光ファイバジャイロ等の角速度検出型ジャイロであってよい。

30 【0010】取り付け金具41には更に、第1の加速度計46と第2の加速度計47と第3の加速度計48とが装着されている。第1の加速度計46によって仰角軸線Y-Y周りのアンテナ14の中心軸線X-Xの傾斜角度が検出され、第2の加速度計47によって水平面に対する仰角軸線Y-Yの傾斜角度 α が検出される。

40 【0011】第2の加速度計47をその入力軸線が仰角軸線Y-Yに平行となるように、取り付け金具41に装着すれば、その出力は $\sin \alpha$ に比例する。尚、第2の加速度計47は、その入力軸線が仰角軸線Y-Yに平行となるように、方位ジンバル40に装着してもよい。

【0012】第3の加速度計48は第1の加速度計46及び第2の加速度計47の双方に直交するように装着される、即ち、第1の加速度計46の入力軸線及び第2の加速度計47の入力軸線の双方に直交する入力軸線を有するように取り付けられる。こうして、第3の加速度計48はアンテナ14の中心軸線X-X及び仰角軸線Y-Yの双方に直交する軸線の水平面に対する傾斜角度を検出する。

50 【0013】取り付け金具41の一方の脚部には仰角軸線Y-Yと同軸的に仰角歯車32が装着されている。斯かる仰角歯車32にはピニオン35が噛み合わされており、斯かるピニオン35は方位ジンバル40のU字形部40-2の一方の脚部に装着された仰角サーボモータ33の回転軸に取り付けられている。

【0014】方位ジンバル40のU字形部40-2の一方の脚部には仰角発信器34が装着されており、斯かる仰角発信器34によってアンテナ14の仰角軸線Y-Y周りの回転角度 θ が検出されそれを指示する信号が出力される。

【0015】一方、方位軸20の下端部には方位歯車22が取り付けられ、基台3のブリッジ部3-1上には方位サーボモータ23と方位発信器24が取り付けられ、方位サーボモータ23及び方位発信器24の回転軸にそれぞれ取り付けられたピニオン(図示なし)が方位歯車22に噛み合わされるように構成されている。

【0016】図示のように、アンテナ指向装置を制御するために仰角制御ループと方位角制御ループが設けられている。尚、アンテナ14の中心軸線X-Xが水平面となす角をアンテナの仰角 θ_A とし、アンテナ14の中心軸線X-Xが水平面上で子午線Nとなす角をアンテナの方位角 ϕ_A とする。

【0017】仰角制御ループはアンテナの仰角 θ_A が衛星高度角 θ_s に一致するようにアンテナ14を仰角軸線Y-Y周りに回転させるよう構成されており、速い制御ループ、即ち、仰角安定化ループと遅い制御ループ、即ち、仰角拘束ループとを含む。速い制御ループ、即ち、仰角安定化ループにおいて、仰角ジャイロ44の出力は仰角制御積分器54及び増幅器55を介して仰角サーボモータ33にフィードバックされる。それによって船体が揺動しても慣性空間に対するアンテナ14の仰角軸線Y-Y周りの角速度は常にゼロに保持される。

【0018】遅い制御ループ、即ち、仰角拘束ループにおいて、第1の加速度計46、第2の加速度計47及び第3の加速度計48からなる直交3軸の加速度計の出力信号はアンテナ仰角演算部81に供給される。アンテナ仰角演算部81は3つの加速度計46、47、48の出力信号 g_1 、 g_2 、 g_3 を入力し、アンテナ14の仰角 θ_A 、即ち、水平面に対するアンテナ14の中心軸線X-Xの傾斜角 θ_A を演算する。斯かる演算は次の数1の式に基づいて実行される。

【0019】

【数1】

$$\tan \theta_A = -g_1 / (g_2 \sin \epsilon + g_3 \cos \epsilon)$$

但し、 $\tan \epsilon = g_2 / g_3$ 、

【0020】数1の式より明らかなように、斯かる演算はアンテナ14の仰角 θ_A の正接よりアークタンジェント演算を行い、それによってアンテナ14の仰角 θ_A の値及びその象限を求めることを含む。尚、アンテナ仰角演算部81の機能と構成の詳細については、本願出願人と同一の出願人によって出願された特願平4-348745号を参照されたい。

【0021】アンテナ仰角演算部81より出力されたアンテナ14の仰角 θ_A を指示する信号は、例えば手動設定された衛星高度角 θ_s を指示する信号によって減ぜら

れ、更に、減衰器56を経由して仰角制御積分器54及び増幅器55に入力される。このループは、アンテナ14の仰角 θ_A を衛星高度角 θ_s に一致させるための適当な時定数を有する。尚、減衰器56に仰角ジャイロ44のドリフト変動を補償させるために積分特性を具備させることも可能である。

【0022】方位角制御ループはアンテナ14の方位角 ϕ_A が衛星方位角 ϕ_s に一致するように方位ジンバル40の方位を制御するように構成されており、速い制御ループ、即ち、方位角安定化ループと遅い制御ループ、即ち、方位角拘束ループとを含む。速い制御ループ、即ち、方位角安定化ループにおいて、方位ジャイロ45の出力信号は、sec θ 演算部76、方位角制御積分器58及び増幅器59を介して方位サーボモータ23にフィードバックされ、それによってアンテナ14は、アンテナ14の中心軸線X-X及び仰角軸線Y-Yの両者に直交する軸線周りの船体の回転運動に対して、安定化されることができる。

【0023】遅い制御ループ、即ち、方位角拘束ループにおいて、方位発信器24より方位ジンバル40の回転角(アンテナの回転角) ϕ を指示する回転角信号が出力され、斯かる回転角信号は加算器61に供給される。加算器61では、斯かる回転角 ϕ と例えば磁気コンパス又はジャイロコンパスより供給された船首方位角 ϕ_c と傾斜補正演算部93より供給された傾斜補正值 $\Delta \phi_A$ とが加算され、その和より衛星方位角 ϕ_s が減算される。加算器61の出力信号は、更に、減衰器60を経由して方位角制御積分器58に入力される。アンテナの回転角 ϕ と船首方位角 ϕ_c と傾斜補正值 $\Delta \phi_A$ との和が衛星方位角 ϕ_s に等しくなるとき、アンテナ14の方位は静止する。

【0024】斯かる傾斜補正演算部93は仰角発信器34より出力された仰角軸線Y-Y周りのアンテナ14の回転角 θ を指示する信号と第2の加速度計47より出力された水平面に対する仰角軸線Y-Yの傾斜角 x の正弦値 $\sin x$ を指示する信号と第3の加速度計48より出力されたアンテナの中心軸線X-X及び仰角軸線Y-Yの双方に直交する軸線の水平面に対する傾斜角度 θ_P の正弦値 $\sin \theta_P$ を指示する信号とを入力して、傾斜補正值 $\Delta \phi_A$ を演算する。

【0025】斯かる傾斜補正值 $\Delta \phi_A$ は次の数2の式によって求められる。

【0026】

【数2】

$$\tan \Delta \phi_A = \sin \theta \cdot \sin x / \sin \theta_P$$

【0027】尚、斯かる傾斜補正演算部93の構成と動作の詳細については、本願出願人と同一の出願人によって出願された特願平5-2581号を参照されたい。

【0028】この方位角制御ループは、アンテナ14の方位角 ϕ_A を衛星方位角 ϕ_s に一致させるための適当な

時定数を有する。尚、減衰器60に方位ジャイロ45のドリフト変動を補償させるために積分特性を具備させることも可能である。即ち、減衰器56、60の出力は積分型ジャイロトルカの出力に相当する。

【0029】こうして、仰角制御ループと方位角制御ループとによってアンテナ14はその中心軸線X-Xが衛星方向に指向するように構成されている。

【0030】

【発明が解決しようとする課題】アンテナ指向装置において、船体が動揺した場合等において、アンテナの中心軸線X-Xが方位軸線Z-Zに平行となることがある。斯かる場合、従来のアンテナ指向装置では、方位角制御ループの第3のループ中のsec θ 演算部76の出力が極めて大きな値となり、その結果、アンテナ14の中心軸線X-Xが本来指向すべき衛星方向より偏倚してしまう欠点があった。

【0031】以下に斯かる問題を説明する。船体がロール運動によってロール軸線（船首方向）周りにロール角 β にて回転（傾斜）し、アンテナの中心軸線X-Xが衛星方向より偏倚すると制御ループが作動する。その結果、アンテナの中心軸線X-Xが衛星方向を指向するべく、アンテナ14が方位軸線Z-Z周りに回転角 ϕ だけ回転し、仰角軸線Y-Y周りに回転角 θ だけ回転したものととする。

【0032】このとき仰角ジャイロ44及び方位ジャイロ45が検出する角速度 ω_Y 、 ω_Z はそれぞれ次のように表される。

【0033】

【数3】 $\omega_Y = -\beta_1 \sin \phi + \theta_1$

$\omega_Z = \beta_1 \cos \phi \cdot \sin \theta + \phi_1 \cos \theta$

【0034】 β_1 ：船体のロール軸線周りの回転（傾斜）速度

θ ：仰角軸線周りのアンテナ14の回転角

θ_1 ：仰角軸線周りのアンテナ14の回転速度（ $=d\theta/dt$ ）

ϕ ：方位軸線周りのアンテナ14の回転角

ϕ_1 ：方位軸線周りのアンテナ14の回転速度（ $=d\phi/dt$ ）

【0035】速い制御ループ、即ち、方位角安定化ループは、sec θ 演算部76の出力がゼロになるように、方位ジンバル40の方位を制御するように機能する。sec θ 演算部76の出力がゼロのとき、数3の式によって表される角速度 ω_Z はゼロ（ $\omega_Z = 0$ ）になる。従って次の式が成立する。

【0036】

【数4】 $\phi_1 = -\beta_1 \cos \phi \cdot \tan \theta$

【0037】この数4の式によって表される角速度 ϕ_1 は、方位角安定化ループによって達成されるべきアンテナ14（又は方位ジンバル40）の方位軸線Z-Z周りの回転速度 ϕ_1 である。斯かる回転速度 ϕ_1 は、方位サ

ーボモータ23によって達成される、従って、これは方位サーボモータ23に供給される命令信号である。

【0038】数4の式より明らかなように、斯かる方位サーボモータ23に供給される命令信号 ϕ_1 は仰角軸線Y-Y周りのアンテナ14の回転角 θ が90°近くなると、極大となる。例えば、 $\beta_1 = 20^\circ/s$ 、 $\phi = 0^\circ$ 、 $\theta = 89^\circ$ の時、 $\phi_1 = 1146^\circ/s$ となる。

【0039】実際に使用されている方位サーボモータ23はこのような大きな回転速度 ϕ_1 を達成することができない性能を持たない。従って、方位制御ループが作動しても、アンテナ14の中心軸線X-Xが衛星方位に追従することができず、sec θ 演算部76の出力はゼロとされない。sec θ 演算部76の出力は、方位サーボ偏差として第2の積分器、即ち、仰角制御積分器58に入力される。

【0040】速い制御ループである仰角安定化ループは、数3の式によって表される角速度 ω_Y がゼロ（ $\omega_Y = 0$ ）になるように、アンテナ14の仰角を制御するように機能する。従って次の式が成立する。

【0041】

【数5】 $\theta_1 = \beta_1 \sin \phi$

【0042】この数5の式によって表される角速度 θ_1 は、仰角制御系の第1のループによって達成されるべきアンテナ14の仰角軸線Y-Y周りの回転速度 θ_1 である。斯かる回転速度 θ_1 は仰角サーボモータ23によって達成される、従って、これは仰角サーボモータ33に供給される命令信号である。

【0043】数5の式より明らかなように、仰角サーボモータ23に供給される命令信号 θ_1 の最大値は船体のロール軸線周りの回転（傾斜）速度 β_1 程度であり、略20°/s程度である。

【0044】しかしながら、数5の式より明らかなように、斯かる命令信号即ち回転角速度 θ_1 は方位角 ϕ を含む。上述のように、仰角軸線Y-Y周りのアンテナ14の回転角 θ が90°近くなると、方位軸線Z-Z周りのアンテナ14の回転角 ϕ は方位サーボ偏差を含む。したがって、数5の式によって表される如き、仰角サーボモータ33に供給される命令信号 θ_1 も斯かる方位サーボ偏差によって偏倚された値となっている。

【0045】こうして、仰角安定化ループによって、仰角サーボモータ33は斯かる追従誤差を含む命令信号 θ_1 によって制御されるから、アンテナ14の中心軸線X-Xは衛星仰角 θ_s より偏倚することとなる。

【0046】同様に、数4の式より明らかなように、方位サーボモータ23に供給される命令信号 ϕ_1 は方位軸線Z-Z周りのアンテナ14の回転角 ϕ と仰角軸線Y-Y周りのアンテナ14の回転角 θ の両者の関数となっており、これらの2つの角は上述のようにそれぞれ方位サーボ偏差と仰角サーボ偏差の影響を受けている。こうして、方位安定化ループによって、方位サーボモータ23

は追従誤差を含む命令信号 ϕ_1 によって制御されるから、アンテナ14の中心軸線X-Xの方位は衛星方位 ϕ_s より偏倚することとなる。

【0047】こうして従来のアンテナ指向装置では、仰角軸線Y-Y周りのアンテナ14の回転角 θ が 90° 近くになると、方位制御ループにおいて方位サーボ偏差が生じ、それが仰角制御ループにも影響を与える。それによって、アンテナ14の中心軸線X-Xは衛星方向より偏倚することとなる。

【0048】本発明は、斯かる点に鑑み、船体が航行中に動揺等を受け、仰角軸線Y-Y周りのアンテナ14の回転角 θ が 90° 近くになるときでも、アンテナ14を衛星に対して良好に指向することができるアンテナ指向装置を提供することを目的とする。

【0049】

【課題を解決するための手段】本発明によれば、例えば図1に示すように、中心軸線X-Xを有し支持部材41に支持されたアンテナ14と、アンテナ14及び支持部材41を中心軸線X-Xに直交する仰角軸線Y-Y周りに回転可能に支持する方位ジンバル40と、方位ジンバル40を仰角軸線Y-Yに直交する方位軸線Z-Z周りに回転可能に支持する基台3と、仰角軸線Y-Yに平行な入力軸線を有し支持部材41に固定された第1のジャイロ44と、中心軸線X-Xと仰角軸線Y-Yの両者に直交する入力軸線を有し支持部材41に固定された第2のジャイロ45と、水平面に対する中心軸線X-Xの傾斜角を指示する信号を出力する第1の加速度計46と、水平面に対する仰角軸線Y-Yの傾斜角を指示する信号を出力する第2の加速度計47と、アンテナの中心軸線X-Xと仰角軸線Y-Yの両者に直交する入力軸線を有する第3の加速度計48と、方位ジンバル40の方位軸線Z-Z周りの回転角を指示する信号を出力する方位発信器24と、方位ジンバル40に対する仰角軸線Y-Y周りのアンテナ14の回転角 θ を指示する信号を出力する仰角発信器34と、第2の加速度計47の出力信号と第3の加速度計48の出力信号と仰角発信器34の出力信号とを入力して傾斜補正值 $\Delta\phi_A$ を演算する傾斜補正演算部93と、を有し、加速度計46、47、48の出力信号から衛星の高度角に対応した値を減じた信号を第*

*1のジャイロ44の仰角制御積分器54にフィードバックし方位発信器24の出力信号と船首方位角及び衛星方位角に対応した信号と傾斜補正演算部93より出力された傾斜補正值 $\Delta\phi_A$ を指示する信号とを加算器61にて演算しその出力信号を第2のジャイロ45の方位角制御積分器58にフィードバックしてアンテナの中心軸線X-Xを衛星に指向させるように構成されたアンテナ指向装置において、傾斜補正演算部93より供給された傾斜補正值 $\Delta\phi_A$ と衛星高度角 θ_s と仰角発信器34より供給された仰角軸線Y-Y周りのアンテナの回転角 θ とよりアンテナ指向装置の取り付け面の動揺角 η 、 ξ を演算する動揺角演算部94と、この動揺角演算部94より供給された動揺角 η 、 ξ と傾斜補正演算部93より供給された傾斜補正值 $\Delta\phi_A$ と仰角発信器34より供給された仰角軸線Y-Y周りのアンテナの回転角 θ と仰角制御積分器54の出力値と方位角制御積分器58の出力値とを入力し、第1のジャイロ44及び第2のジャイロ45の検出角速度偏差を演算するサーボ偏差補正演算部120と、サーボ偏差補正演算部120の出力と第1のジャイロ44の出力を入力して加算する第3の加算器125と、サーボ偏差補正演算部120の出力と第2のジャイロ45の出力を入力して加算する第4の加算器126と、を設け、船体の動揺等によって発生する方位軸線Z-Z周りの追従偏差と仰角軸線Y-Y周りの追従偏差によってジャイロの出力に生ずる検出角速度偏差を補正するように構成されている。

【0050】本発明によれば、アンテナ指向装置において、動揺角演算部94は次式によってアンテナ指向装置の取り付け面の動揺角 η 、 ξ を演算する。

$$\eta = \tan^{-1}(\sin \Delta\phi_A / \tan \theta)$$

$$\theta_s - \xi = \tan^{-1}(\tan \Delta\phi_A / \sin \eta)$$

但し、 η 、 ξ ：取り付け面の動揺角

$\Delta\phi_A$ ：傾斜補正值

θ ：仰角発信器の出力信号

θ_s ：衛星高度角

【0051】本発明によれば、アンテナ指向装置において、サーボ偏差補正演算部120は次式によって第1のジャイロ44及び第2のジャイロ45の検出角速度偏差 h_a 、 h_e を演算する。

$$h_a = -\xi_1 [\sin \eta \{ \cos(\theta - X_E) - \cos \theta \} + \cos \eta \{ \sin(\Delta\phi_A + X_A) \cdot \sin(\theta - X_E) - \sin \Delta\phi_A \cdot \sin \theta \}]$$

$$+ \eta_1 \{ \cos(\Delta\phi_A + X_A) \cdot \sin(\theta - X_E) - \cos \Delta\phi_A \cdot \sin \theta \} + d\phi/dt \{ \cos(\theta - X_E) - \cos \theta \}$$

$$h_e = \xi_1 \cos \eta \{ \cos(\Delta\phi_A + X_A) - \cos \Delta\phi_A \}$$

$$+ \eta_1 \{ \sin(\Delta\phi_A + X_A) - \sin \Delta\phi_A \}$$

【0052】 θ ：仰角軸線Y-Y周りのアンテナ14の回転角度

$\Delta\phi_A$ ：方位軸線Z-Z周りのアンテナ14の回転角度

$d\theta/dt$ ：仰角軸線Y-Y周りのアンテナ14の回転角速度

* $d\phi/dt$ ：方位軸線Z-Z周りのアンテナ14の回転角速度

ξ_1 ：動揺角 ξ の時間に関する1次微分

η_1 ：動揺角 η の時間に関する1次微分

*50 X_A ：方位角制御積分器58の出力

X_E : 仰角制御積分器54の出力

【0053】本発明によれば、アンテナ指向装置において、動揺角演算部93より出力された動揺角 η 、 ξ と傾斜補正演算部93より出力された傾斜補正值 $\Delta\phi_A$ と予め設定された予想時間 Δt_Y とを入力して予想時間後の方位角を演算し、予想時間後の方位角と現在の方位角との差から方位サーボ偏差を演算して出力する方位サーボ偏差リミッタ値演算部と該方位サーボ偏差リミッタ値演算部の出力と上記第2の次の出力を入力する積分器の出力とを入力し、方位サーボ偏差リミッタ値演算部121の出力によって方位角制御積分器58の出力を制限するサーボ偏差リミッタ122と、を設け、アンテナの仰角が大きいためにアンテナを方位軸線Z-Z周りに回転させる方位サーボモータ23の暴走を防止するように構成されている。

【0054】本発明によれば、アンテナ指向装置において、方位サーボ偏差リミッタ値演算部121は次式によって方位サーボ偏差リミッタ値 $\Delta\phi_L$ を演算することを特徴とする。

$$\tan \Delta\phi_L = \frac{B - \tan A}{1 + B \tan A}$$

【0055】但し、

$\Delta\phi_L$: 方位サーボ偏差リミッタ値

$A = \phi_S - \phi_C - \phi$

$B = \sin \eta_Y \tan (\theta_S - \xi_Y)$

ϕ_S : 衛星方位角

ϕ_C : 船首方位角

ϕ : アンテナ14の方位軸線Z-Z周りの回転角度

ξ_Y 、 η_Y : 予測時間 Δt_Y 経過後の動揺角

【0056】

【作用】本発明によれば、サーボ偏差補正演算部120において数15の式によって仰角ジャイロ44及び方位ジャイロ45の検出角速度偏差 h_a 、 h_e が演算され、斯かる検出角速度偏差 h_a 、 h_e によって仰角ジャイロ44及び方位ジャイロ45の出力角速度 ω_{Y2} 、 ω_{P2} が補正され、仰角制御積分器54及び方位角制御積分器58から補正後の命令信号(仰角サーボ偏差、方位角サーボ偏差)X_E、X_Aが出力され、斯かる命令信号X_E、X_Aによってそれぞれ仰角サーボモータ33及び方位サーボモータ23が作動される。

【0057】本発明によれば、方位サーボ偏差リミッタ値演算部121において数18の式によって方位サーボ偏差リミッタ値 $\Delta\phi_L$ が演算され、斯かる方位サーボ偏差リミッタ値 $\Delta\phi_L$ によって方位サーボモータ23に供給される命令信号が制限される。

【0058】本発明によれば、サーボ偏差リミッタ122において数20の式によって方位サーボ偏差X_Aが制限され、方位サーボ偏差X_Aの代わりに方位サーボ偏差リミッタ値 $\Delta\phi_L$ が増幅器59を経由して方位サーボ

モータ23に命令信号として供給される。

【0059】

【実施例】以下に図1～図4を参照して本発明の実施例について説明する。尚図1～図4において図5の対応する部分には同一の参照符号を付してその詳細な説明は省略する。

【0060】図1は本発明のアンテナ指向装置の1例を示しており、アンテナ指向装置は基台3と斯かる基台3に装着された方位ジンバル40と方位ジンバル40の上端部のU字形部材に装着された取り付け金具41と斯かる取り付け金具41に取り付けられたアンテナ14とを有する。

【0061】アンテナ14は中心軸線X-Xを有しており、アンテナ14と斯かるアンテナ14に装着された取り付け金具41とからなる組立体は中心軸線X-Xに直交する仰角軸線Y-Yの周りに回転可能に支持されている。方位ジンバル40は仰角軸線Y-Yと直交する方位軸線Z-Z周りに回転可能に基台3に支持されている。こうして、2軸に回転可能な支持機構が構成され、斯かる支持機構はアンテナ14の中心軸線X-Xが衛星を指向するように制御される。

【0062】取り付け金具41には、仰角ジャイロ44及び方位ジャイロ45と第1の加速度計46、第2の加速度計47及び第3の加速度計48が装着されている。

【0063】仰角ジャイロ44によって仰角軸線Y-Y周りを回転するアンテナ14の回転角速度が検出され、方位ジャイロ45によって仰角軸線Y-Y及びアンテナ14の中心軸線X-Xの双方に直交する軸線周りのアンテナ14の回転角速度が検出され、第1の加速度計46によって水平面に対するアンテナ14の中心軸線X-Xの傾斜角度が検出され、第2の加速度計47によって水平面に対する仰角軸線Y-Yの傾斜角度が検出される。

【0064】第3の加速度計48は第1の加速度計46の入力軸線及び第2の加速度計47の入力軸線の双方に直交する入力軸線を有するように取り付けられる。従って、第3の加速度計48はアンテナ14の中心軸線X-X及び仰角軸線Y-Yの双方に直交する軸線の水平面に対する傾斜角度を検出する。

【0065】仰角ジャイロ44と方位ジャイロ45は例えば振動ジャイロ、レートジャイロ等の角速度検出型ジャイロであってよい。

【0066】本例のアンテナ指向装置は、仰角制御ループと方位角制御ループとを有し、仰角制御ループはアンテナの仰角 θ_A が衛星高度角 θ_S に一致するようにアンテナ14を仰角軸線Y-Y周りに回転させるよう構成されており、方位角制御ループはアンテナの方位角 ϕ_A が衛星の方位角 ϕ_S に一致するようにアンテナ14を方位軸線Z-Z周りに回転させるよう構成されている。尚、図5の従来例と同様な部分についてはその詳細な説明を省略する。

13

【0067】本例によると、従来の制御ループと比較して、新たに動揺角演算部94、サーボ偏差補正演算部120、方位サーボ偏差リミッタ値演算部121及びサーボ偏差リミッタ122が設けられている点が異なる。更に斯かるサーボ偏差補正演算部120の出力信号を入力する第3及び第4の加算器125、126が設けられている。

【0068】動揺角演算部94は傾斜補正演算部93より出力された傾斜補正值 $\Delta\phi_A$ を指示する信号と仰角発信器34より出力された仰角軸線Y-Y周りのアンテナ14の回転角度 θ を指示する信号と衛星高度角 θ_s を指示する信号とを入力し、船体面の動揺角 η 、 ξ 即ちアンテナ指向装置が取り付けられた船体の取り付け面の動揺角 η 、 ξ を演算する。

【0069】サーボ偏差補正演算部120は、動揺角演算部94によって演算された動揺角 η 、 ξ を指示する信号と第1の積分器、即ち、仰角制御積分器54の出力信号 X_B と第2の積分器、即ち、方位角制御積分器58の出力信号 X_A と傾斜補正演算部93より出力された傾斜補正值 $\Delta\phi_A$ を指示する信号と仰角発信器34より出力された仰角軸線Y-Y周りのアンテナ14の回転角度 θ を指示する信号とを入力し、仰角ジャイロ44及び方位ジャイロ45の検出角 ω_Y 、 ω_Z の偏差 h_e 、 h_a を演算する。

【0070】第3の加算器125は仰角ジャイロ44の出力信号 ω_Y と偏差信号 h_e とを入力して、仰角ジャイロ44の出力信号 ω_Y を補正し、斯かる補正された値を仰角制御積分器54に出力する。第4の加算器126は方位ジャイロ45の出力信号 ω_Z と偏差信号 h_a とを入力して、方位ジャイロ45の出力信号 ω_Z を補正し、斯かる補正した値をsec θ 演算部76を経由して方位角制御積分器58に出力する。

【0071】方位サーボ偏差リミッタ値演算部121は動揺角演算部94より出力された動揺角 η 、 ξ を指示する信号と傾斜補正演算部93より出力された傾斜補正值 $\Delta\phi_A$ を指示する信号と衛星高度角 θ_s を指示する信号と予想時間 Δt_Y を指示する信号とを入力し、一定の予想時間 Δt_Y 経過後のアンテナ14の方位角を演算する。斯かる予想方位角と現在の方位角 ϕ_A とを比較し、両者の差が所定値より大きくなると、方位サーボ偏差リミッタ値 $\Delta\phi_L$ を生成し、それをサーボ偏差リミッタ122に供給する。

【0072】方位サーボ偏差リミッタ値演算部121より方位サーボ偏差リミッタ値 $\Delta\phi_L$ が出力されると、サーボ偏差リミッタ122は方位角制御積分器58の出力を制限し、斯かる方位角制御積分器58の出力の代わりに、方位サーボ偏差リミッタ値 $\Delta\phi_L$ を増幅器59に供給する。

【0073】図2を参照して本例の動揺角演算部94の機能と動作を説明する。図2は、半径1の単位球面を考

14

え、斯かる単位球面とアンテナ14の中心軸線X-X（図2にて線分OX）、仰角軸線Y-Y（図2にて線分OY、OY'）、方位軸線Z-Z（図2にて線分OZ、OZ'）、及びアンテナ14の中心軸線X-Xと仰角軸線Y-Yの双方に直交する軸線（図2にて線分OP、OP'）、の関係を示す図である。方位軸線Z-Zは船体面（アンテナ指向装置の取り付け面に平行な面）に常に垂直であり、仰角軸線Y-Yは船体面に常に平行である。

【0074】船体が第1の回転軸線周りに回転角度（動揺角） ξ だけ回転し、更に第2の回転軸線周りに回転角度（動揺角） η だけ回転した場合を考える。斯かる船体の回転運動によって、例えば図示のように、船体面が水平面に対して仰角軸線Y-Y（OY）周りに回転角度 ξ だけ回転し、更に船体の首尾線OE周りに回転角度 η だけ回転した仮定する。このとき、仰角軸線Y-Yは第1の回転軸線に平行であり、船体の首尾線OEは第2の回転軸線に平行である。

【0075】斯かる船体面の運動によって、方位軸線Z-Zは線OZから線OZ'に移動し、仰角軸線Y-Yは線OYから線ODに移動する。尚、 $\angle XOY = \angle XOD = 90^\circ$ である。アンテナ14の中心軸線X-Xも移動するが、制御ループによってアンテナ14の中心軸線X-Xは衛星方向を指向するように制御される。即ち、アンテナ14の中心軸線X-Xは線OXから偏倚した位置に移動し再び線OXまで移動する。

【0076】斯かる制御によって、仰角軸線Y-Yは方位軸線OZ'周りに回転角 $\Delta\phi_A$ だけ回転し線ODから線OY'に移動する。尚、 $\angle XOY' = 90^\circ$ である。結局、線OYは線ODを経由して線OY'に移動したことになり、同時に、アンテナ14の中心軸線X-Xと仰角軸線Y-Yの双方に直交する線OPは、線OP'に移動する。 $\angle POP' = \angle Y'OY$ 及び弧 $PP' = \text{弧} Y'Y$ である。

【0077】線OX、線OY及び線OPは互いに直交する長さ1の線であり、三角形XYPは1辺が $\pi/2$ の等辺球面三角形となる。線OX、線OY'及び線OP'も互いに直交する長さ1の線であり、三角形XY'P'は1辺が $\pi/2$ の等辺球面三角形となる。

【0078】単位球面上にて点Xと点P及び点P'を直線で結ぶ。弧XPは点Aにて水平面と直交し、更に点Pにて面OY'P'と直交する。弧XP'は点Cにて船体面（取り付け面）と直交し、更に点P'にて面OY'P'と直交する。点P'から水平面に下ろした垂線の足をA'とし、点Y'から水平面に下ろした垂線の足をB'とする。

【0079】ここで、 $\angle XOA = \theta_0 = \text{弧} XA$ 、 $\angle POA = \theta_{P0} = \text{弧} PA$ 、 $\angle BOD = \eta = \text{弧} BD$ 、 $\angle XOC = \theta = \text{弧} XC$ 、 $\angle P'OA' = \theta_P = \text{弧} P'A'$ 、 $\angle Y'OB' = x = \text{弧} Y'B'$ である。

【0080】第1の加速度計46は線OXに沿って装着され、第2の加速度計47は線OYに沿って装着され、第3の加速度計48は線OPに沿って装着されている。船体面が水平面と同一であるとき、仰角発信器34によって船体面に対するアンテナ14の中心軸線X-Xの傾斜角 $\angle XOA = \theta_0$ が出力され、第1の加速度計46によって $\sin \angle XOA = \sin \theta_0$ が検出され、第2の加速度計47によって $\sin \angle YOB = \sin 0 = 0$ が検出され、第3の加速度計48によって $\sin \angle POA = \sin \theta_{P0}$ が検出される。

【0081】上述のように、船体面が水平面に対して仰角軸線Y-Y(OY)周りに回転角度 η だけ回転し、更に船体の首尾線OE周りに回転角度 ξ だけ回転すると、仰角発信器34によって船体面に対するアンテナ14の中心軸線X-Xの傾斜角 $\angle XOC = \theta$ が出力され、第1の加速度計46によって $\sin \angle XOA = \sin \theta_0$ が検出され、第2の加速度計47によって $\sin \angle Y'OB' = \sin \eta$ が検出され、第3の加速度計48によって $\sin \angle P'OA' = \sin \theta_P$ が検出される。第1の加速度計46によって検出される値 $\sin \angle XOA = \sin \theta_0$ が変化しないのは、衛星の高度角 θ_s ($= \theta_A$ とする。)は船体面の運動に無関係だからである。

【0082】次に、傾斜補正值 $\Delta \phi_A$ と動揺角 η 、 ξ との間の関係を求める。傾斜補正值 $\Delta \phi_A = \text{弧} EC = \text{弧} DY'$ である。尚、傾斜補正值 $\Delta \phi_A$ は、上述のように、数2の式によって求められる。球面三角法の定理を適用すれば、次の数6の式が求められる。

【0083】

$$\begin{aligned} \text{【数6】} \quad \sin \Delta \phi_A &= \tan \eta \cdot \tan \theta \\ \cos \eta &= \sin \theta / \sin (\theta_s - \xi) \\ \cos \Delta \phi_A \cdot \cos \theta &= \cos (\theta_s - \xi) \end{aligned}$$

【0084】ここで η 、 ξ は動揺角、 $\Delta \phi_A$ は傾斜補正值、 θ は方位ジンバル40に対する仰角軸線Y-Y周りのアンテナの回転角である。この数6の式より動揺角 η 、 ξ を求めると、次の数7の式が得られる。

【0085】

$$\begin{aligned} \text{【数7】} \quad \eta &= \tan^{-1} (\sin \Delta \phi_A / \tan \theta) \\ \theta_s - \xi &= \tan^{-1} (\tan \Delta \phi_A / \sin \eta) \quad * \\ d \Delta \phi_A / dt &= \eta_1 \cos \Delta \phi_A \cdot \tan \theta - \xi_1 (\sin \eta + \cos \eta \cdot \sin \Delta \phi_A \cdot \tan \theta) \end{aligned}$$

【0095】ここに、 η_1 、 ξ_1 は動揺角 η 、 ξ の時間についての1次微分、即ち、 $\eta_1 = (d\eta/dt)$ 、 $\xi_1 = (d\xi/dt)$ である。

【0096】傾斜補正值 $\Delta \phi_A$ を時間について1次微分した値は、船体に動揺角速度 η_1 、 ξ_1 が生じた場合に、アンテナ14(又は方位ジンバル40)を方位軸線Z-Z周りに回転させるときに必要な回転角速度を表す。

【0097】数10の式によって明らかなように、仰角発信器34によって出力されるアンテナ14の仰角軸線※50

*【0086】本例によれば動揺角演算部94において数7の式の演算が実行され、それによって動揺角 η 、 ξ が求められる。斯かる動揺角 η 、 ξ を指示する信号は動揺角演算部94よりサーボ偏差補正演算部120、方位サーボ偏差リミッタ値演算部121に供給される。

【0087】傾斜補正值 $\Delta \phi_A$ は傾斜補正演算部93の出力値として得られることができるが、好ましくは次のようにして求められる。第4のループは加算器61の出力がゼロとなるように方位ジンバル40の方位を制御するように構成されており、従って、加算器61の出力がゼロであるときは次の数8の式が成立する。

【0088】

$$\text{【数8】} \quad \Delta \phi_A = \phi_s - \phi_c - \phi$$

【0089】ここに、 ϕ_s は衛星方位角、 ϕ_c は船首方位角、 ϕ は方位発信器24によって出力される方位ジンバル40の回転角である。数8の式の右辺の各項は、動揺加速度の影響を直接受けない値として、又は、動揺加速度の影響が小さい値として求められることができる。従って、傾斜補正值 $\Delta \phi_A$ は、傾斜補正演算部93の出力値を使用する代わりに、数8の式を使用して求めてもよい。

【0090】次に方位サーボ偏差が生ずる機構を説明する。方位サーボ偏差は、上述のように船体が動揺等によってアンテナ14の仰角軸線Y-Y周りの回転角 θ の値が90°近くになるときに生ずる。特に、衛星高度角 θ_s が高いときに生じ易い。斯かる回転角 θ は仰角発信器34より出力される。

【0091】数6の式より回転角 θ を消去すると次の数9の式が得られる。

【0092】

$$\begin{aligned} \text{【数9】} \quad \tan \Delta \phi_A &= \sin \eta \cdot \tan (\theta_s - \xi) \end{aligned}$$

【0093】この数9の式を時間で微分し、数6の式を使って傾斜補正值 $\Delta \phi_A$ の時間についての1次微分値 $d \Delta \phi_A / dt$ を求める。

【0094】

【数10】

※Y-Y周りの回転角度 θ が90°のとき、斯かるアンテナ14(又は方位ジンバル40)の方位軸線Z-Z周りの回転角速度 $d \Delta \phi_A / dt (= -d\phi/dt)$ は無限大となる。

【0098】実際の方位サーボモータ23によって達成することができる回転角速度は有限であり、従って、方位制御ループによるアンテナ14の方位角制御において追従誤差即ち方位サーボ偏差が生じ、アンテナ14の中心軸線X-Xは衛星方位より偏倚することとなる。

【0099】方位制御ループによる方位角制御に方位サ

一ボ偏差がなく、アンテナ14の中心軸線X-Xの方位が正確に衛星方向を指向している場合には、方位角制御積分器58の出力はゼロであるが、方位サーボ偏差が生じている場合には、方位角制御積分器58は斯かる方位サーボ偏差 X_A を出力する。

【0100】図3を参照して、方位サーボ偏差が生じている場合のアンテナ指向装置の状態を説明する。図3は図2と同様に、半径1の単位球面を考え、斯かる単位球面とアンテナ14の中心軸線X-X（図3にて線分OX₁、OX₂）、仰角軸線Y-Y（図3にて線分OY、OY₁、OY₂）、方位軸線Z-Z（図3にて線分OZ、OZ₁）、及びアンテナ14の中心軸線X-Xと仰角軸線Y-Yの双方に直交する軸線（図3にて線分OP、OP₁、OP₂）、の関係を示す図である。方位軸線Z-Zは船体面に常に垂直であり、仰角軸線Y-Yは船体面に常に平行である。

【0101】船体の動揺によって、船体面が水平面に対して仰角軸線Y-Y（OY）周りに回転角度 θ だけ回転し、それによって方位軸線Z-Zは線OZから線OZ₁に移動し、更に船体面が船体の首尾線OE周りに回転角度 η だけ回転し、それによって仰角軸線Y-Yは線OYから線ODに移動したと仮定する。

【0102】斯かる船体面の移動によってアンテナ14の中心軸線X-Xも移動するが、制御ループによってアンテナ14の中心軸線X-Xは衛星方向を指向するように制御される。もし、制御系において方位サーボ偏差及び仰角サーボ偏差が生じなければ、アンテナ14の中心軸線X-Xは正確に衛星方向を指向する。即ち、アンテナ14の中心軸線X-Xは線OX₁から偏倚した位置に移動し再び線OX₁まで移動する。

【0103】しかしながら、方位サーボ偏差及び仰角サーボ偏差に起因して、アンテナ14の中心軸線X-Xは線OX₁ではなく線OX₂に移動したものとす。

【0104】このとき方位制御ループによって、アンテナ14（方位ジンバル40）は方位軸線Z-Z（線OZ₁）周りに回転角 $\Delta\phi_{A1}$ ではなく回転角 $\Delta\phi_{A2}$ だけ回転し、それによって仰角軸線Y-Yは船体面上にて方位軸線OZ₁周りに回転角 $\Delta\phi_{A1}$ ではなく回転角 $\Delta\phi_{A2}$ だけ*

$$\begin{aligned}\omega_{Y1} &= \xi_1 \cos \eta \cdot \cos \Delta\phi_{A1} + \eta_1 \sin \Delta\phi_{A1} + d\theta/dt \\ \omega_{P1} &= -\xi_1 (\sin \eta \cdot \cos \theta_1 + \cos \eta \cdot \sin \Delta\phi_{A1} \cdot \sin \theta_1) \\ &\quad + \eta_1 \cos \Delta\phi_{A1} \cdot \sin \theta_1 - d\Delta\phi_{A1}/dt \cdot \cos \theta_1 \\ \omega_{Y2} &= \xi_1 \cos \eta \cdot \cos \Delta\phi_{A2} + \eta_1 \sin \Delta\phi_{A2} + d\theta/dt \\ \omega_{P2} &= -\xi_1 (\sin \eta \cdot \cos \theta_2 + \cos \eta \cdot \sin \Delta\phi_{A2} \cdot \sin \theta_2) \\ &\quad + \eta_1 \cos \Delta\phi_{A2} \cdot \sin \theta_2 - d\Delta\phi_{A2}/dt \cdot \cos \theta_2\end{aligned}$$

【0110】次に、サーボ偏差補正演算部120の機能を説明する。サーボ偏差補正演算部120は、方位サーボ偏差及び仰角サーボ偏差がない場合の検出角速度 ω_{Y1} 、 ω_{P1} と方位サーボ偏差及び仰角サーボ偏差がある場合の検出角速度 ω_{Y2} 、 ω_{P2} の差、即ち、検出角速度偏差 h_a 、 h_e を演算する。斯かる検出角速度偏差 h_e 、※50

*回転し、線ODから線OY₁ではなく線OY₂に移動する。

【0105】アンテナ14の中心軸線X-Xと仰角軸線Y-Yの双方に直交する線OPは、線OP₁ではなく線OP₂に移動する。尚、 $\angle X_2 OY_2 = 90^\circ$ である。結局、線OYは線ODを經由して線OY₂に移動したことになり、 $\angle POP_2 = \angle Y_2 OD$ 及び弧PP₂ = 弧Y₂Yである。

【0106】線OX₂、線OY₂及び線OP₂は互いに直交する長さ1の線であり、三角形X₂Y₂P₂は1辺が $\pi/2$ の等辺球面三角形となる。単位球面上にて点X₂と点P₂を直線で結ぶ。弧X₂P₂は点C₂にて船体面（取り付け面）と直交し、更に点P₂にて面OY₂P₂と直交する。同様に点X₁と点P₁を直線で結ぶ。弧X₁P₁は点C₁にて船体面（取り付け面）と直交し、更に点P₁にて面OY₁P₁と直交する。

【0107】また仰角制御ループによって、アンテナ14は仰角軸線Y-Y周りに回転角 θ だけ回転する。ここで、 $\angle X_2 OC_2 = \theta_2 = \text{弧} X_2 C_2$ 、 $\angle X_1 OC_1 = \theta_1 = \text{弧} X_1 C_1$ である。仰角軸線Y-Y周りのアンテナ14の回転角 θ 又はアンテナ14の中心軸線X-Xが船体面となす角 θ_1 、 θ_2 は仰角発信器34によって検出される。

【0108】方位サーボ偏差及び仰角サーボ偏差がなければ、仰角ジャイロ44は線OY₁に沿って配置され、従って、線OY₁周りのアンテナ14の回転角速度 ω_{Y1} を検出し、方位ジャイロ45は線OP₁に沿って配置され、従って、線OP₁周りのアンテナ14の回転角速度 ω_{P1} を検出する。しかしながら、方位サーボ偏差及び仰角サーボ偏差があると、仰角ジャイロ44は線OY₂に沿って配置され、線OY₂周りのアンテナ14の回転角速度 ω_{Y2} を検出し、方位ジャイロ45は線OP₂に沿って配置され、線OP₂周りのアンテナ14の回転角速度 ω_{P2} を検出する。斯かる回転角速度は次の式によって表される。

【0109】

【数11】

※ h_a は次の式によって表される。

【0111】

【数12】 $h_e = \omega_{Y1} - \omega_{Y2}$

$h_a = \omega_{P1} - \omega_{P2}$

【0112】仰角軸線Y-Y周りのアンテナ14の回転角度 θ_1 、 θ_2 と仰角制御ループの仰角制御積分器54

の出力（仰角サーボ偏差） X_E との関係と方位軸線 Z-Z 周りのアンテナ 14 の回転角度 $\Delta\phi_{A1}$ 、 $\Delta\phi_{A2}$ と方位角制御ループの方位角制御積分器 58 の出力（方位角サーボ偏差） X_A との関係は次の式によって表される。

【0113】

【数13】 $\theta_1 = \theta_2 - X_E$

$\Delta\phi_{A1} = \Delta\phi_{A2} + X_A$

【0114】ここで、 θ_2 を θ に、 $\Delta\phi_{A2}$ を $\Delta\phi_A$ に置*

$$\begin{aligned} h_a = & -\xi_1 \{ \sin \eta \{ \cos (\theta - X_E) - \cos \theta \} + \cos \eta \{ \sin (\Delta\phi_A + X_A) \cdot \sin (\theta - X_E) - \sin \Delta\phi_A \cdot \sin \theta \} \} \\ & + \eta_1 \{ \cos (\Delta\phi_A + X_A) \cdot \sin (\theta - X_E) - \cos \Delta\phi_A \cdot \sin \theta \} + d\phi/dt \{ \cos (\theta - X_E) - \cos \theta \} \\ h_e = & \xi_1 \cos \eta \{ \cos (\Delta\phi_A + X_A) - \cos \Delta\phi_A \} \\ & + \eta_1 \{ \sin (\Delta\phi_A + X_A) - \sin \Delta\phi_A \} \end{aligned}$$

【0118】 θ ：仰角軸線 Y-Y 周りのアンテナ 14 の回転角度

$\Delta\phi_A$ ：方位軸線 Z-Z 周りのアンテナ 14 の回転角度

$d\theta/dt$ ：仰角軸線 Y-Y 周りのアンテナ 14 の回転角速度

$d\phi/dt$ ：方位軸線 Z-Z 周りのアンテナ 14 の回転角速度

ξ_1 ：動揺角 ξ の時間に関する 1 次微分

η_1 ：動揺角 η の時間に関する 1 次微分

X_A ：方位角制御積分器 58 の出力（方位角サーボ偏差）

X_E ：仰角制御積分器 54 の出力（仰角サーボ偏差）

【0119】仰角ジャイロ 44 の検出角速度偏差 h_e 及び方位ジャイロ 45 の検出角速度偏差 h_a は各々加算器 125、126 に供給される。第 3 の加算器 125 で 30 は、仰角ジャイロ 44 より出力された角速度 ω_{Y2} は角速度偏差 h_e によって補正され、第 4 の加算器 126 では、方位ジャイロ 45 より出力された角速度 ω_{P2} は角速度偏差 h_a によって補正される。

【0120】従って、第 3 の加算器 125 より出力される角速度は、アンテナ 14 の中心軸線 X-X が衛星方向を指向していると仮定した場合に、仰角ジャイロ 44 より出力される角速度 ω_{Y1} であり、第 4 の加算器 126 より出力される角速度は、アンテナ 14 の中心軸線 X-X が衛星方向を指向していると仮定した場合に、方位ジャイロ 45 より出力される角速度 ω_{P1} である。40

【0121】斯かる補正された仰角ジャイロ 44 の出力信号及び方位ジャイロ 45 の出力信号はそれぞれ仰角制御積分器 54 及び方位角制御積分器 58 に供給される。仰角制御積分器 54 及び方位角制御積分器 58 より出力された命令信号 X_E 、 X_A は増幅器 55、59 を経由してそれぞれ仰角サーボモータ 33 及び方位サーボモータ 23 に供給される。

【0122】こうして本例によれば、方位サーボ偏差及び仰角サーボ偏差が生じ、アンテナ 14 の中心軸線 X-X ※50

*き換える。

【0115】

【数14】 $\theta_1 = \theta - X_E$

$\Delta\phi_{A1} = \Delta\phi_A + X_A$

【0116】数 11 の式と数 14 の式を数 12 の式に代入して整頓すると、次の式が求められる。

【0117】

【数15】

※Xが衛星方向より偏倚している場合でも、アンテナ 14 の中心軸線 X-X が衛星方向を指向していると仮定して、仰角サーボモータ 33 及び方位サーボモータ 23 に命令信号 X_E 、 X_A が供給されるから、方位サーボ偏差及び仰角サーボ偏差に起因してアンテナ 14 の中心軸線 X-X が衛星方向より益々偏倚することがない。

【0123】次に、方位サーボ偏差リミッタ値演算部 121 及びサーボ偏差リミッタ 122 の機能を説明する。方位サーボ偏差リミッタ値演算部 121 及びサーボ偏差リミッタ 122 は方位サーボモータ 23 に供給される命令信号が極大となって方位サーボモータ 23 が暴走することを防止するように機能する。

【0124】数 4 の式を参照して説明したように、仰角発信器 34 より出力される仰角軸線 Y-Y 周りのアンテナ 14 の回転角 θ が 90° 近くになると、方位サーボモータ 23 に供給される命令角速度 $d\phi/dt$ の値は極大となり、方位サーボモータ 23 が暴走することとなる。

【0125】本例によると、方位サーボモータ 23 に供給される命令信号値の最大値は制限され、それによって方位サーボモータ 23 の暴走が防止されるように構成されている。方位サーボ偏差リミッタ値演算部 121 は方位サーボ偏差リミッタ値 $\Delta\phi_L$ を演算してそれをサーボ偏差リミッタ 122 に供給する。斯かる方位サーボ偏差リミッタ値 $\Delta\phi_L$ は方位サーボモータ 23 に供給される命令信号値の許容最大値を表す。40

【0126】本例によると、方位サーボ偏差リミッタ値 $\Delta\phi_L$ は、設定された予想時間 Δt_Y 経過後の方位サーボ偏差 X_A が使用される。方位サーボ偏差リミッタ値演算部 121 は、予想時間 Δt_Y 経過後の方位サーボ偏差 X_A ($= \Delta\phi_L$) を演算する。

【0127】数 8 の式にて ϕ の代わりに方位サーボ偏差 X_A によって補正した $\phi - X_A$ を使用すると次の式が得られる。

【0128】

【数16】 $\Delta\phi_A = \phi_S - \phi_C - (\phi - X_A)$

21

【0129】数16の式を数9の式に代入し、現在の動揺角 ξ 、 η の代わりに予想時間 Δt_Y 経過後の動揺角 ξ_Y 、 η_Y を使用すると次のようになる。

【0130】

$$\text{【数17】} \tan(\phi_S - \phi_C - \phi + X_A) = \sin \eta_Y \tan(\theta_S - \xi_Y)$$

【0131】数17の式より方位サーボ偏差 X_A について解くと、次のようになる。但し、方位サーボ偏差 X_A を方位サーボ偏差リミッタ値 $\Delta\phi_L$ に置き換える。即ち、 $X_A = \Delta\phi_L$ とする。

【0132】

【数18】

$$\tan \Delta\phi_L = \frac{B - \tan A}{1 + B \tan A}$$

【0133】但し、

$$A = \phi_S - \phi_C - \phi$$

$$B = \sin \eta_Y \tan(\theta_S - \xi_Y)$$

η_Y 、 ξ_Y ：予想時間 Δt_Y 経過後の動揺角

ϕ_S ：衛星方位角

ϕ_C ：船首方位角

$$\begin{aligned} |X_A| > |\Delta\phi_L| : X_A &= \text{SGN}(X_A) \cdot |\Delta\phi_L| \\ |X_A| \leq |\Delta\phi_L| : X_A &= X_A \end{aligned}$$

【0139】ここに、 $\text{SGN}(X_A)$ は X_A の符号を表す。

【0140】こうして、方位サーボ偏差 X_A が制限されると、方位サーボ偏差 X_A の代わりに方位サーボ偏差リミッタ値 $\Delta\phi_L$ が増幅器59を経由して方位サーボモータ23に命令信号として供給される。

【0141】このとき、同時に方位サーボ偏差リミッタ値 $\Delta\phi_L$ は方位角制御積分器58にも供給され、斯かる方位角制御積分器58より出力される出力はこの方位サーボ偏差リミッタ値 $\Delta\phi_L$ によって置き換えられる。

【0142】こうして、本例によると、方位サーボモータ23に供給される命令信号は方位サーボ偏差リミッタ値 $\Delta\phi_L$ を超えることがないから、方位サーボモータ23が暴走してアンテナ14が高速で回転することはない。

【0143】本例によると、船体が動揺している場合には、方位サーボモータ23に供給される命令信号は方位サーボ偏差リミッタ値 $\Delta\phi_L$ によって制限される。斯かる方位サーボ偏差リミッタ値 $\Delta\phi_L$ は、数18の式によって表されるように、予想時間経過後の船体の動揺角 η_Y 、 ξ_Y の関数である。予想時間経過後の船体の動揺角 η_Y 、 ξ_Y は、数19の式によって表されるように、現在の動揺角 ξ 、 η と動揺角速度 ξ_1 、 η_1 の関数だから、結局、方位サーボ偏差リミッタ値 $\Delta\phi_L$ は現在の動揺角 ξ 、 η と動揺角速度 ξ_1 、 η_1 の関数である。

【0144】本例において、船体が動揺していない場合について考える。船体が静止している場合であっても、※50

22

* ϕ ：アンテナ14の方位軸線Z-Z周りの回転角度

【0134】数18の式の逆正接演算によって得られる値が方位サーボ偏差リミッタ値演算部121より出力される方位サーボ偏差リミッタ値 $\Delta\phi_L$ である。

【0135】予想時間 Δt_Y 経過後の動揺角 η_Y 、 ξ_Y は、動揺角を時間の関数としてテイラー展開しその1次近似にとって次のように表される。

【0136】

$$\text{【数19】} \xi_Y = \xi + \xi_1 \Delta t_Y$$

$$10 \quad \eta_Y = \eta + \eta_1 \Delta t_Y$$

【0137】サーボ偏差リミッタ122は方位サーボ偏差リミッタ値演算部121より出力された方位サーボ偏差リミッタ値 $\Delta\phi_L$ の絶対値と方位角制御積分器58より出力された方位サーボ偏差 X_A の絶対値とを比較する。方位サーボ偏差 X_A の絶対値が方位サーボ偏差リミッタ値 $\Delta\phi_L$ の絶対値より大きいときに、方位サーボ偏差 X_A は制限される。これを式によって表すと次のようになる。

【0138】

20 【数20】

*

※アンテナ14の中心軸線X-Xが天頂方向を向いている場合には、仰角発信器34より出力される回転角 θ は90°近くなる。従って、従来の装置では、数9の式より方位サーボモータ23に供給される命令信号は極大になり、方位サーボモータ23が暴走することとなる。

【0145】しかしながら、本例によると、船体が静止している場合には、船体の動揺角 ξ 、 η 及び動揺角速度 ξ_1 、 η_1 はゼロであるから、数17の式より方位サーボ偏差リミッタ値 $\Delta\phi_L$ ($=X_A$) は $-(\phi_S - \phi_C - \phi)$ となる。船体が静止している場合には数6の式に示されるように傾斜補正值 $\Delta\phi_A$ ($=\phi_S - \phi_C - \phi$) はゼロである。従って、船体が静止している場合には、方位サーボ偏差リミッタ値 $\Delta\phi_L$ はゼロである。

【0146】こうして、方位サーボモータ23に供給される命令信号はゼロとなり、アンテナ14の方位角が衛星方位より徐々に偏倚することが回避され、アンテナ14の中心軸線X-Xを衛星方向に指向させておくことができる。

【0147】次に図4に本発明の効果を示す実際の計算例を示す。衛星方位角 $\phi_S = 0^\circ$ 、衛星高度角 $\theta_S = 75^\circ$ であると仮定している。図4Aは船体の動揺運動を表しており、横軸は時間、縦軸は回転傾斜角度である。図示のように、船体面はピッチ軸線周りに一定の角度にて静的に回転傾斜し、ロール軸線周りに正弦波的に動的に回転傾斜している。

【0148】図4Bは方位角 ϕ の値の変化を示し、横軸は時間、縦軸はアンテナ14の方位角である。実線は本

例による結果を示し、破線は従来例による結果を示す。図示のように、従来例では追従誤差は時間と共に増加するが、本例では追従誤差は増加しない。

【0149】以上本発明の実施例について詳細に説明してきたが、本発明は上述の実施例に限ることなく本発明の要旨を逸脱することなく他の種々の構成が採り得ることは当業者にとって容易に理解されよう。

【0150】

【発明の効果】本発明によれば、サーボ偏差補正演算部120において数15の式によって仰角ジャイロ44及び方位ジャイロ45の検出角速度偏差 h_a 、 h_e が演算され、斯かる検出角速度偏差 h_a 、 h_e によって仰角ジャイロ44及び方位ジャイロ45の出力角速度 ω_{Y2} 、 ω_{P2} が補正され、それによって仰角制御積分器54及び方位角制御積分器58より補正された命令信号 X_E 、 X_A が出力され、斯かる命令信号 X_E 、 X_A によってそれぞれ仰角サーボモータ33及び方位サーボモータ23が作動されるから、アンテナ14の中心軸線 $X-X$ は良好に衛星方向を指向することができる利点がある。

【0151】本発明によれば、方位サーボ偏差リミッタ値演算部121において数18の式によって方位サーボ偏差リミッタ値 $\Delta\phi_L$ が演算され、斯かる方位サーボ偏差リミッタ値 $\Delta\phi_L$ によって方位サーボモータ23に供給される命令信号が制限されるから、従来のように、仰角軸線 $Y-Y$ 周りのアンテナ14の回転角 θ が 90° 近くになった場合でも、方位サーボモータ23が暴走することがない利点がある。

【0152】本発明によれば、サーボ偏差リミッタ122において数20の式によって方位サーボ偏差 X_A が制限され、方位サーボ偏差 X_A の代わりに方位サーボ偏差リミッタ値 $\Delta\phi_L$ が増幅器59を経由して方位サーボモータ23に命令信号として供給されるから、従来のように、仰角軸線 $Y-Y$ 周りのアンテナ14の回転角 θ が 90° 近くになった場合でも、方位サーボモータ23が暴走することがない利点がある。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明のアンテナ指向装置の例を示す図である。

【図2】単位球面上におけるアンテナ指向装置の動作を説明する説明図である。

【図3】単位球面上におけるアンテナ指向装置の動作を説明する説明図である。

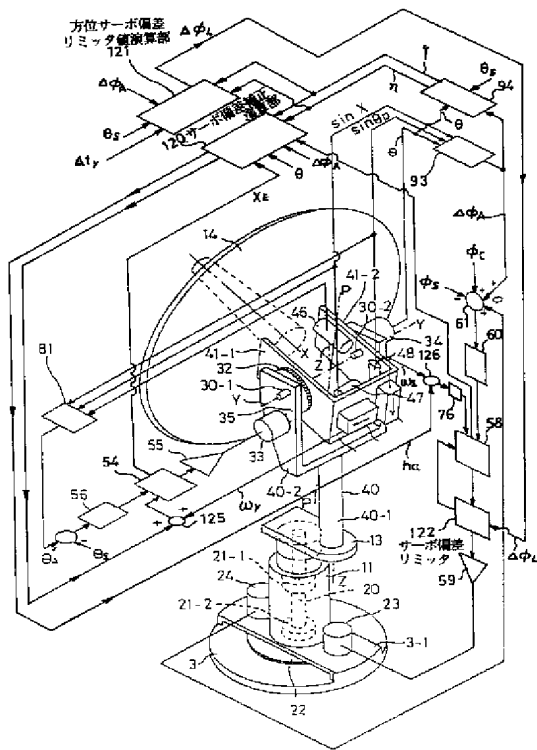
【図4】本発明のアンテナ指向装置の性能を示す図である。

【図5】従来のアンテナ指向装置の例を示す図である。

【符号の説明】

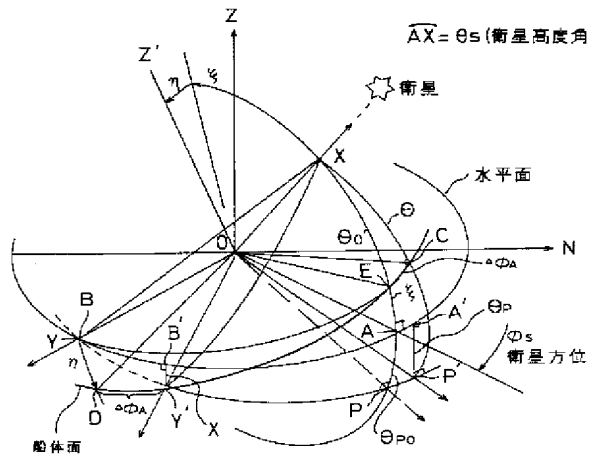
- 3 基台
- 3-1 ブリッジ部
- 11 円筒部
- 13 アーム
- 14 アンテナ
- 20 方位軸
- 21-1、21-2 軸受
- 22 方位歯車
- 23 方位サーボモータ
- 24 方位発信器
- 30-1、30-2 仰角軸
- 32 仰角歯車
- 33 仰角サーボモータ
- 34 仰角発信器
- 35 ピニオン
- 40 方位ジンバル
- 40-1 支持軸部
- 40-2 U字形部
- 41 取り付け金具
- 41-1、41-2 脚部
- 44 仰角ジャイロ
- 45 方位ジャイロ
- 46 第1の加速度計
- 47 第2の加速度計
- 48 第3の加速度計
- 54 (仰角制御)積分器
- 55 増幅器
- 56 減衰器
- 58 (方位角制御)積分器
- 59 増幅器
- 60 減衰器
- 61 加算器
- 76 $\sec\theta$ 演算部
- 81 アンテナ仰角演算部
- 93 傾斜補正演算部
- 94 動揺角演算部
- 120 サーボ偏差補正演算部
- 121 方位サーボ偏差リミッタ値演算部
- 122 サーボ偏差リミッタ
- 125、126 加算器
- $X-X$ アンテナ中心軸線
- $Y-Y$ 仰角軸線
- $Z-Z$ 方位軸線

【図1】



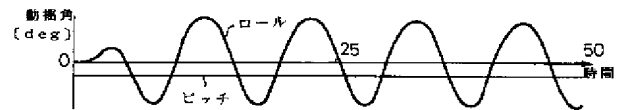
本発明のアンテナ指向装置の例

【図2】

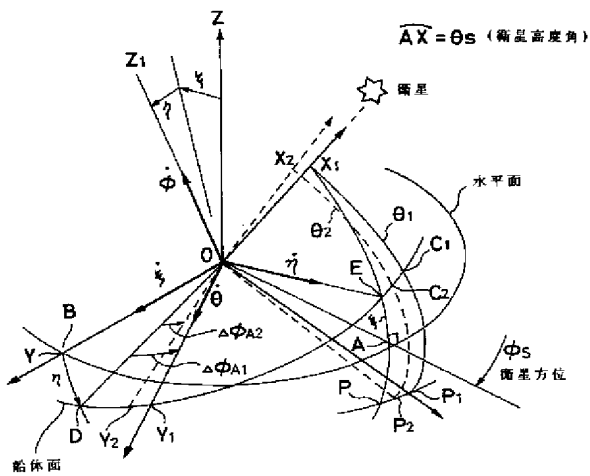
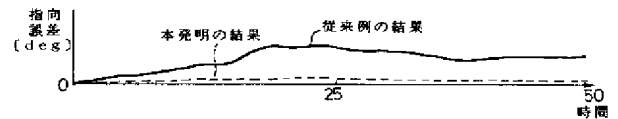
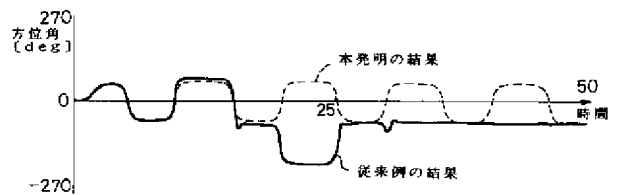


単位球面上でのアンテナ指向装置の状態

【図4】



【図3】

単位球面上でのサーボ偏差が生じた場合の
アンテナ指向装置の状態

本発明の結果の例

【図5】

